饲粮钴添加水平对断奶至3月龄獭兔生长性能、屠宰性能、肌肉品质和皮张质量的影响

高 琴[1] 刘 磊[1] 隋啸一[1] 孙海涛[2] 刘公言[1] 李福昌[1*]

(1.山东农业大学动物科技学院，泰安 271018；2.山东省农科院畜牧兽医研究所，济南 250100)

摘 要：本试验旨在研究饲粮钴添加水平对断奶至3月龄獭兔生长性能、屠宰性能、肌肉品质和皮张质量的影响。选择体重相近的断奶獭兔200只，随机分为5组（每组40个重复，每个重复1只）分别饲喂在基础饲粮中添加0、0.1、0.4、1.6、6.4 mg/kg钴（以硫酸钴的形式）的试验饲粮。预试期7 d，正试期60 d。结果表明：在初始体重（IBW）无显著差异（P>0.05）的前提下，饲粮钴添加水平对终末体重（FBW）有显著影响（P<0.05），对平均日采食量（ADFI）有极显著影响（P<0.01），对平均日增重（ADG）和料重比（F/G）均无显著影响（P>0.05）。随着饲粮钴添加水平的升高，FBW和ADFI均先升高后降低，并且均在饲粮钴添加水平为0.4 mg/kg时最高。饲粮钴添加水平对獭兔的全净膛率、半净膛率和及肌肉品质指标[pH、失水率、剪切力以及肉色（亮度、红度、黄度值）]均无显著影响（P>0.05），随着饲粮钴添加水平的升高，全净膛率和半净膛率均有有先升高后降低的趋势。饲粮钴添加水平对獭兔的皮张面积、皮张重量、皮张厚度均无显著影响（P>0.05）。随着饲粮钴添加水平的升高，皮张重量呈现先增加后降低的趋势，且在饲粮钴添加水平为0.4 mg/kg时最高。饲粮钴添加水平对胸腺指数、脾脏指数、肝脏指数均没有显著影响（P>0.05）。随着饲粮钴添加水平的升高，胸腺指数呈现先增加后降低的趋势，且在饲粮钴添加水平为0.4 mg/kg时达到最高。综合本试验测定指标，断奶至3月龄獭兔饲粮适宜的钴添加水平为0.4 mg/kg（基础饲粮中钴含量为0.27 mg/kg）。

关键词：钴；獭兔；生长性能；屠宰性能；皮张质量；免疫性能

中图分类号：S816 文献标识码：A 文章编号：

1935年Underwood和Marston分别发现羊的消瘦病是由缺钴引起的，从而确定了钴是动物必需的微量元素，这也是确认的第6种动物必需微量元素[1]。钴是维生素B_{12}的组成成分，而维生素B_{12}是造血性维生素，参与核酸、胆碱、蛋氨酸的合成以及脂肪与糖的代谢，对肝脏和神经系统维持正常功能也具有一定作用，同时维生素B_{12}也是甲基丙二酰CoA变位酶和5-甲基四氢叶酸甲基转移酶等多种酶的辅酶，参与和调节体内的丙酸代谢、叶酸代谢[2]。近年来，钴因其具有重要的生物学功能而被营养学家所重视。饲粮中钴可提

收稿日期：2016-05-26

基金项目：现代农业产业技术体系建设专项(CARS-44-B-1)；山东省现代农业产业技术体系特种经济动物创新团队（SDAIT-21-12）；中国博士后科学基金资助项目（2015M580601）

作者简介：高 琴（1990-），女，山东枣庄人，硕士研究生，从事家兔营养与代谢研究。E-mail: 634747303@qq.com

*通信作者：李福昌，教授，博士生导师，E-mail: chlf@sdau.edu.cn

高动物对饲粮尤其是劣质饲粮中营养物质的消化率[3]。姜成钢[4]通过体外瘤胃发酵模拟试验表明，荷斯坦泌乳奶牛饲粮中添加 0.3 mg/kg 钴可显著提高纤维素消化率。穆秀梅等[5]研究表明，饲粮中添加钴和维生素 B_{12} 有利于断奶羔羊的生长发育，并增加断奶羔羊的日增重。郭孝等[6]报道，以含 5%高钴的苜蓿青干草为粗饲料，杜泊羊产肉量显著增加。刘镜恪等[7]指出，饲料中的钴能够提高鱼类的生长性能和血红细胞的数量。Paterson 等[8]观察了缺钴和补钴对牛免疫的影响，证实了缺钴导致牛免疫力降低。Fisher 等[9]报道，缺钴母绵羊的产羔率下降、死胎率增多、羔羊成活率下降。董海军等[10]报道，在绵羊饲粮中添加 0.5～1.0 mg/kg 的氯化钴不仅能改善绵羊的生长发育，刺激羊羔生长，还能增加羊毛产量。王润莲等[11]研究表明，添加钴可促进瘤胃维生素 B_{12} 的合成，其合成量随饲喂时间的延长而增加，6 周后趋于稳定。Hertz 等[12]研究指出，饲料中添加钴使鲤鱼的成活率、受精卵的孵化率、蛋白质的合成量等均有提高或改善。目前对钴的研究多集中在反刍动物和水产动物方面，在家兔上的研究很少，具体到獭兔上的资料就更缺乏。本试验拟通过在饲粮中添加不同水平的钴，以探讨饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔生长性能、屠宰性能、肌肉品质、皮张质量和免疫器官发育的影响，寻求生长獭兔适宜的钴添加水平，为我国獭兔饲养标准的制订提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲粮

基础饲粮参考 De Blas 等[13]的生长兔饲养标准配制而成，其组成及营养水平见表 1。在基础饲粮中以硫酸钴的形式添加钴配制试验饲粮，试验饲粮中钴的添加水平分别为 0、0.1、0.4、1.6、6.4 mg/kg，制成颗粒后钴实测值分别为 0.27、0.35、0.60、1.83、6.62 mg/kg。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

原料 Ingredients		营养水平 Nutrient levels[2)]	
玉米 Corn	7.00	消化能 DE/(MJ/kg)	10.11
次粉 Wheat middling	16.00	粗蛋白质 CP	17.37
玉米胚芽粕 Corn germ meal	15.00	粗灰分 Ash	19.54
葵花粕 Sunflower meal	12.50	粗脂肪 EE	3.14
稻壳粉 Rice hull	13.00	粗纤维 CF	19.54
羊草 Guinea grass	20.00	中性洗涤纤维 NDF	41.59
大豆粕 Soybean meal	8.00	酸性洗涤纤维 ADF	22.58
膨化大豆 Extruded soybean	4.00	木质素 ADL	7.57
豆油 Soybean oil	0.75	钙 Ca	1.00

大豆磷脂 Soybean phosphatides	0.75	磷 P	0.54
预混料 Premix[1)]	3.00	赖氨酸 Lys	0.56
合计 Total	100.00	蛋氨酸 Met	0.23

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet：VA 12 000 IU，VD_3 900 IU，VE 50 mg，VK_3 1.5 mg，VB_1 1.5 mg，VB_2 5 mg，VB_3 40 mg，VB_5 50 mg，VB_6 0.5 mg，VB_{11} 2.5 mg，VB_{12} 0.02 mg，胆碱 choline 600 mg，生物素 biotin 0.2 mg，K 7 mg，Mg 3 mg，Fe 60 mg，Zn 60 mg，Cu 40 mg，Mn 9 mg，I 1 mg，Se 0.2 mg，石粉 limestone 15 000 mg，NaCl 5 000 mg，赖氨酸 Lys 1 000 mg，蛋氨酸 Met 2 000 mg，10%杆菌肽锌 bacitracin zine 300 mg。

[2)]消化能为计算值，其他均为实测值。DE was a calculate value, while the others were measured values.

1.2 试验动物分组与饲养管理

选取平均体重为 855.6 g 的断奶獭兔 200 只（公母各占 1/2），按性别和体重随机分为 5 组，每组 40 个重复，每个重复 1 只试验兔。试验兔单笼饲养，试验期间早、晚各饲喂 1 次。试验前对兔舍、兔笼、料盒和饮水设备进行彻底清洗和消毒，试验期间自然采光和通风，自由采食和饮水，3~5 d 带兔消毒兔舍 1 次。预试期 7 d，正试期 60 d，记录试验期间的耗料量和体增重。

1.3 样品采集与制备

试验结束后，每组随机抽取 8 只试验兔（公母各 4 只），空腹 12 h 后称重，屠宰剥皮，采集指标测定所需样品。

1.4 指标测定和方法

1.4.1 生长性能指标

称量试验开始和试验结束时试验兔的体重，并统计断奶至 3 月龄试验兔全期的喂料量，计算平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）、料重比（F/G）。

1.4.2 屠宰性能和肌肉品质指标的测定

试验兔于屠宰前空腹 12 h 后称重，记录为活体重，并分别计算半净膛屠宰率和全净膛屠宰率。试验兔放血、去皮、四肢和消化道及内容物重量即为半净膛重；全净膛重为半净膛重去除头、心脏、肺脏、肝脏和肾脏后的重量。

pH：屠宰后 45 min 立即用 Mettler MP120 型酸碱度计测背腰最长肌第 5 肋骨处的 pH，将探头插入肌肉 3 mm 读数。24 h 后在同一部位再次读数。

失水率：屠宰后 4 h 取眼肌，沿样品肌纤维方向切成 3 cm×1 cm×1 cm 长条后称重，记为 M_1；用铁丝钩住肉条的一端，悬空挂于纸杯中，用保鲜膜将纸杯口密封（肉样不得与纸杯壁接触），置于 4 ℃冰箱中 24 h，取出样品进行称重，记为 M_2。通过下面公式计算失水率：

失水率（%）=100×（M_1-M_2）/M_1。

剪切力：采集的新鲜背腰最长肌放于 4 ℃冰箱，经 48 h 贮存熟化后取出，将温度计插入肌肉中心部位，于恒温水浴锅内 80 ℃加热，在肌肉中心的温度达到 60 ℃时停止加热，取出肉样，将肉样沿着肌肉纤维的方向修剪成直径为 1.12 cm 的圆柱形肌肉块，用 C-LM 型肌肉嫩度计测定剪切力。

肉色：屠宰后 45 min 用日本产 CR-10 型号色差仪，利用 CIE-Lab 输出模式，从背腰最长肌处切开 3 个切面分别记录亮度（L*）、红度（a*）、黄度（b*）值。

1.4.3 皮张质量指标的测定

试验兔屠宰后，将剥下的獭兔皮称重，桌面平铺，然后用软尺测量其长度和宽度，长度量取颈部至尾根处，宽度量取腹中部最窄处，并计算皮张面积；皮张折叠，用游标卡尺测量其厚度，皮张厚度为所测值的 1/2。

1.4.4 免疫器官指数

试验兔屠宰后，仔细解剖取出胸腺、脾脏和肝脏（去除胆囊）称重，并根据以下公式计算免疫器官指数：

脾脏指数(g/kg)=脾脏重(g)/活体重(kg)；

胸腺指数(g/kg)=胸腺重(g)/活体重(kg)；

肝脏指数(g/kg)=肝脏重(g)/活体重(kg)。

1.5 数据处理与分析

数据以平均值和均方根误差表示，用 SAS 9.1.3 统计软件中的 GLM 程序进行数据的方差分析，用 Duncan 氏法进行数据的多重比较。

2 结果与分析

2.1 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔生长性能的影响

由表 2 可以看出，在初始体重（IBW）无显著差异（P>0.05）的情况下，饲粮钴添加水平对獭兔的 ADG 和 F/G 均无显著影响（P>0.05），但对终末体重（FBW）有显著影响（P<0.05），对 ADFI 有极显著影响（P<0.01）。随着饲粮钴添加水平的升高，FBW 和 ADFI 均先升高后降低，并且均在饲粮钴添加水平为 0.4 mg/kg 时最高。

表 2 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary Co supplemental level on growth performance of weaned to 3-month old Rex rabbits (n=40)

项目 Items	饲粮钴添加水平 Dietary Co supplemental level/(mg/kg)					均方根误差	P 值
	0	0.1	0.4	1.6	6.4	R-MSE	P-value
初始体重 IBW/g	1 060.76	1 100.15	1 075.38	1 075.48	1 045.56	204.961 7	0.855 6
终末体重 FBW/g	2439.68^{bc}	2516.83^{bc}	2563.18^{a}	2454.83^{bc}	2400.74^{c}	195.968 0	0.022 0
平均日增重 ADG/(g/d)	22.86	23.19	24.35	22.85	22.57	3.213 8	0.332 1
平均日采食量 ADFI/（g/d）	119.44^{Bb}	119.48^{Bb}	122.63^{Aa}	115.79^{Cc}	115.25^{Cc}	5.759 7	<0.000 1

料重比 F/G	5.14	5.27	5.28	5.25	5.09	0.745 0	0.843 7

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01），相同字母或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔屠宰性能和肌肉品质的影响

由表 3 可以看出，饲粮钴添加水平对獭兔的全净膛率和半净膛率均无显著影响（P>0.05），但二者随饲粮钴添加水平水平的升高均有先升高后降低的趋势。饲粮钴添加水平对獭兔的肌肉 pH、失水率、剪切力以及肉色（L*、a*、b*值）均无显著影响（P>0.05）。

表 3 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔屠宰性能及肌肉品质的影响

Table 3 Effects of dietary Co supplemental level on slaughter performance and muscle quality of weaned to 3-month old Rex rabbits (n=8)

项目 Items	饲粮钴添加水平 Dietary Co supplemental level/(mg/kg)					均方根误差	*P* 值
	0	0.1	0.4	1.6	6.4	R-MSE	*P*-value
全净膛率 Eviscerated ratio/%	40.46	48.90	50.29	50.56	49.00	2.008 0	0.054 9
半净膛率 Half eviscerated ratio/%	56.18	57.50	59.43	58.35	58.15	2.292 2	0.091 5
$pH_{45\ min}$	6.75	6.68	6.70	6.74	6.68	0.138 1	0.711 5
$pH_{24\ h}$	5.91	5.97	5.91	5.99	6.09	0.187 9	0.263 5
失水率 Drip loss ratio/%	6.28	5.28	5.95	5.03	5.39	1.367 7	0.360 6
剪切力 Shear force/kgf	2.48	2.46	2.34	2.40	2.42	0.131 6	0.248 8
亮度 L*	43.43	43.81	40.65	44.40	42.81	3.754 2	0.334 1
红度 a*	31.38	45.75	49.17	47.86	45.13	2.753 6	0.724 9
黄度 b*	-7.93	-8.61	-8.86	-8.65	-8.13	1.405 8	0.648 5

2.3 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔皮张质量的影响

由表 4 可以看出，饲粮钴添加水平对獭兔的皮张面积、皮张重量、皮张厚度均没有显著影响（P>0.05）。随着饲粮钴添加水平的升高，皮张重量呈现先增加后降低的趋势，且在钴添加水平为 0.4mg/kg 时最高。

表 4 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔皮张质量的影响

Table 4 Effects of dietary Co supplemental level on fur quality of weaned to 3-month old Rex rabbits (n=8)

项目 Items	饲粮钴添加水平 Dietary Co supplemental level/(mg/kg)	均方根误差	*P* 值

	0	0.1	0.4	1.6	6.4	R-MSE	*P*-value
皮张面积 Fur area/cm²	1443.50	1356.00	1440.00	1429.50	1407.25	104.610 8	0.447 9
皮张重量 Fur weight/g	434.38	455.00	469.38	431.88	425.00	33.802 2	0.070 1
皮张厚度 Fur thickness/mm	2.31	2.38	2.34	2.28	2.32	0.198 6	0.913 4

2.4 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔免疫器官指数的影响

由表 6 可以看出，饲粮钴添加水平对胸腺指数、脾脏指数、肝脏指数没有显著影响（*P*>0.05）。随着饲粮钴添加水平的升高，胸腺指数呈现先增加后降低的趋势，且在钴添加水平为 0.4 mg/kg 时达到最高。

表 6 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔免疫器官指数的影响

Table 6 Effects of dietary Co supplemental level on immune organ indices of weaned to 3-month old Rex rabbits (*n*=8) g/kg

项目 Items	饲粮钴添加水平 Dietary Co supplemental level/(mg/kg)					均方根误差	*P* 值
	0	0.1	0.4	1.6	6.4	R-MSE	*P*-value
胸腺指数 Thymus index	2.39	3.11	3.55	3.07	2.99	0.802 0	0.096 8
脾脏指数 Spleen index	0.43	0.49	0.52	0.52	0.48	0.169 9	0.845 8
肝脏指数 Live index	33.72	31.28	29.87	28.57	29.21	3.985 2	0.100 2

3 讨 论

3.1 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔的生长性能的影响

钴作为动物体内必需的微量元素，对畜禽的生产性能会产生一定的影响，其中报道最多的是其对反刍动物以及水产动物的促生长作用。Mburu 等[14]给东非小山羊饲喂缺钴饲粮，与饲喂钴足量饲粮的对照组比较，饲喂缺钴饲粮的试验组的尿氮排出量较高，从而导致其生长率和体状况下降。杨文平等[15]研究发现，在晋中绵羊饲粮中添加钴可提高绵羊的 ADG 和 ADFI。赵振山等[16]研究表明，在配合饲料中添加适量的钴对团头鲂的生长有促进作用，且在添加水平在 0~23.4 mg/kg 内有递增趋势，当钴添加水平达到 23.4 mg/kg 时，饲料系数最低，生长效果最佳。梁德海等[17]认为，钴可促进中国对虾的生长，中国对虾对钴的需要量为 30 mg/kg，当饲料中钴的含量大于 75 mg/kg 时，增长率和增重率则开始下降。Tiffany 等[18]指出，饲粮中添加钴可显著提高肉牛的 ADFI、ADG 和饲粮转化率。本试验研究表明，在 IBW 无显著差异的情况下，饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔的 FBW 有显著影响，对 ADFI 有极显著影响。随着饲粮钴添加水平的升高，FBW 和 ADFI 均先升高后降低，并且均在饲粮钴添加水平为 0.4mg/kg 时最高。这与上述研究的结果相似，说明饲粮钴添加水平对獭兔的生长性能有影响，并在添加水平为 0.4 mg/kg 时达到最佳。

3.2 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔屠宰性能和肌肉品质的影响

饲粮营养状况直接关系和影响畜禽的屠宰性能，半净膛率和全净膛率是衡量畜禽性能性能的主要指标。在本研究中，饲粮钴添加水平对獭兔的半净膛率和全净膛率无显著影响，但二者随饲粮钴添加水平水平的升高均有先升高后降低的趋势。这可能是由于试验獭兔的 ADG 未受到饲粮钴添加水平的显著影响所致。研究表明，除了肉品安全因素外，其他属性如肉色、风味、滋味和嫩度等也是消费者判断肉品营养价值和质量的指标。肌肉的 pH、系水力、鲜嫩度及肉色是评定肌肉品质优劣的主要指标[19]。肉色虽然与其食用品质(嫩度、风味和多汁性等)无直接关系，但它却是肌肉内部的生理学、生物化学和微生物学变化的外部表现，也是消费者判断肉质和鲜度的主要依据。在本试验中，饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔屠宰性能、肌肉品质均无显著影响。这与 Kadim 等[20]在肉牛、李庆云等[21]在北京肉鸭上的研究结果有所不同，这可能与试验动物的种类不同有关。

3.3 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔皮张质量的影响

獭兔是典型的皮用型兔，其皮张具有很高的经济价值，皮张质量除了受品种、疾病、宰杀与剥皮、加工方法等因素影响外，饲粮营养也是一重要影响因素。张福勋[22]研究发现，适宜的营养水平与采食量能够提高獭兔皮张质量。皮张质量可以从皮张重量、皮张面积、皮张厚度等诸多指标进行综合评定。吴金山[23]提出了鉴定獭兔皮质量的办法，并建议从兔皮绒毛密度、色泽、板质优劣及兔皮面积几方面来进行评定。本试验研究表明，饲粮钴添加水平对獭兔的皮张面积和皮张厚度无显著影响。随着饲粮钴添加水平的升高，断奶至 3 月龄獭兔皮张重量先升高后降低，且在饲粮钴添加水平为 0.4 mg/kg 时最高。

3.4 饲粮钴添加水平对断奶至 3 月龄獭兔免疫器官指数的影响

免疫器官是动物机体生命免疫功能发挥的重要物质基础，是动物执行免疫功能的组织机构，在机体免疫过程中发挥着重要的作用。胸腺是动物机体的中枢免疫器官，是 T 淋巴细胞发育、增殖的重要场所，在淋巴细胞的形成和分化过程中起着重要作用；脾脏是动物机体的外周免疫器官，是 T、B 淋巴细胞定居的场所，也是对抗原刺激进行免疫应答的场所；肝脏内有吞噬力很强的肝巨噬细胞，可识别免疫球蛋白和补体的表面受体，并且可吞噬或胞饮血液中的细菌、病毒、衰老死亡的细胞，是净化体液的重要器官。免疫器官指数一定程度上能够反映了动物的免疫功能，一般认为健康动物的免疫器官指数越大动物的免疫力越强，免疫器官重量降低为免疫抑制所致，而免疫器官重量增加则为免疫增强的表现[23]。刘汉中等[24]研究指出，在断奶至 2 月龄家兔饲粮中添加不同水平的微量元素钴后，对胸腺指数有极显著影响，但对脾脏指数无显著影响。Fisher 等[9]报道，缺钴母绵羊的产羔率下降、死胎率增多、羔羊成活率下降。Paterson 等[8]发现，缺钴饲粮导致后备母牛中性粒细胞功能明显受损，抗感染力下降。本试验结果显示胸腺指数随着饲粮钴添加水平的升高呈现先升高后降低趋势，说明钴与獭兔的免疫力可能存在一定关系，但具体作用机理有待于进一步研究。

4 结 论

综合本试验测定指标，断奶至 3 月龄獭兔饲粮适宜的钴添加水平为 0.4 mg/kg（基础饲粮中钴含量为 0.27 mg/kg）。

参考文献

[1] GEORGIEVSKII V I,ANNENKOV B N,SAMOKHIN V T.Mineral nutrition of animals:studies in the agricultural and food sciences[M].London:Moncellous Bookbinders Ltd,1981.

[2] MCDOWELL L R.Minerals in animal and human nutrition[M].2nd ed.Amsterdam:Academic Press,2003:277–296.

[3] KADIM I T,JOHNSON E H,MAHGOUB O,et al.Effect of low levels of dietary cobalt on apparent nutrient digestibility in Omani goats[J].Animal Feed Science and Technology,2003,109(1/2/3/4):209–216.

[4] 姜成钢.荷斯坦泌乳奶牛铜锌钴铁碘需要量的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2005.

[5] 穆秀梅,毛杨毅,罗惠娣,等.饲料中添加钴、维生素 B_{12} 对羔羊增重的影响[J].饲料工业,2008,29(2):11.

[6] 郭孝,介晓磊,哈斯通拉格,等.日粮中添加高微量元素苜蓿青干草对杜泊羊生产性能的影响[J].草业科学,2009,26(1):100–104.

[7] 刘镜恪,陈晓琳.鱼类的痕量矿物质研究进展[J].海洋科学集刊,2003(10):153–162.

[8] PATERSON J E,MACPHERSON A.A comparison of serum vitamin B_{12} and serum methylmalonic acid as diagnostic measures of cobalt status in cattle[J].Veterinary Record,1990,126(14):329–332.

[9] FISHER G E J,MACPHERSON A.Effect of cobalt deficiency in the pregnant ewe on reproductive performance and lamb viability[J].Research in Veterinary Science,1991,50(3):319–327.

[10] 董海军,周容.微量元素钴在动物营养上的研究与应用[J].饲料工业,2007,28(18):42–45.

[11] 王润莲,张微,张玉枝,等.不同钴水平对肉用绵羊瘤胃维生素 B_{12} 合成、瘤胃发酵及造血机能的影响[J].动物营养学报,2007,19(5):534–538.

[12] HERTZ Y,MADAR Z,HEPPER B,et al.Glucose metabolism in the common Carp (*Cyprinus Carpio* L.):the effects of cobalt and chromium[J].Aquaculture,1989,76(3/4):255–267.

[13] DE BLAS C,MATEOS G G.Feed formulation[M]//DE BLAS C,WISEMAN J J.The nutrition of the rabbit.New York:CABI Publishing,1998:241–253.

[14] MBURU J N,BADAMANA M S,KAMAU J M Z.Faecal and urinary losses of nitrogen in cobalt-deficient small East African goats[J].Indian Journal of Animal Science,1994,64(11):1264–1267.

[15] 杨文平,岳文斌,董玉珍,等.添加不同水平锌、铁和钴对绵羊增重及体内代谢的影响[J].饲料研究,2000(3):11–12.

[16] 赵振山,徐毅刚,王寿兵,等.团头鲂配合饲料中锰和钴添加量的研究[J].水利渔业,1995(1):22–24.

[17] 梁德海,刘发义,孙凤,等.中国对虾对 Co 需要量的研究[J].海洋科学,1991(3):12–14.

[18] TIFFANY M E,SPEARS J W,XI L,et al.Influence of dietary cobalt source and concentration on performance,vitamin B_{12} status,and ruminal and plasma metabolites in growing and finishing steers[J].Journal of Animal Science,2003,81(12):3151–3159.

[19] STRYDOM P E.Do indigenous Southern African cattle breeds have the right genetics for commercial product ion of quality meat[J].Meat Science,2008,80(1):86–93.

[20] KADIM I T,MAHGOUB O,SRIKANDAKUMAR A,et al.Comparative effect of low levels of dietary cobalt and parenteral injection of vitamin B_{12} on carcass and meat quality characteristics in Omani goats[J].Meat Science,2004,66(4):837–844.

[21] 李庆云,袁建敏,闫磊,等.不同钴水平对北京鸭生产性能和血液生理生化指标的影响[J].营养饲料,2008,44(21):33–37.

[22] 张福勋.獭兔毛皮质量与取皮时间的相关性研究[J].当代畜牧,2005(6):4–6.

[23] 吴金山.如何评定獭兔皮质量[J].中国养兔杂志,2005(1):44–45.

[24] 刘汉中,麻名文,延宁,等.钴对肉兔生长性能、免疫及生化指标的研究[J].饲料研究,2010(3):53–56.

Effects of Dietary Cobalt Supplemental Level on Growth Performance, Slaughter Performance, Muscle Quality and Fur Quality of Weaned to 3-Month-Old Rex Rabbits

GAO Qin[1] LIU Lei[1] SUI Xiaoyi[1] SUN Haitao[2] LI Gongyan[1] LI Fuchang[1*]

（1. *College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China;* 2. *Animal Husbandry and Veterinary Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan* 250100, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary cobalt supplemental level on growth performance, slaughter performance, muscle quality and fur quality of weaned to 3-month-old Rex rabbits. Two hundred weaned Rex rabbits were randomly assigned into 5 groups with 40 replicates in each group and each replicate contained 1 rabbit. Rabbits in 5 groups were fed experimental diets which supplemented with 0, 0.1, 0.4, 1.6 and 6.4 mg/kg cobalt on the basis of a basal diet, respectively. The trial lasted for 7 days for adaptation and 60 days for test. The results showed that dietary cobalt supplemental level had significant influences on final body weight (FBW) (P<0.05) and average daily feed intake (ADFI) (P<0.01), but had no significant influences on average daily gain (ADG) and feed/gain (F/G) (P>0.05). With the increase of dietary cobalt supplemental level, the FBW and ADFI tended to be increased firstly and then decreased, and the highest values appeared when dietary cobalt supplemental level was 0.4 mg/kg. Dietary

cobalt supplemental level had no significant influences on eviscerated ratio, half eviscerated ratio and muscle quality indices including pH, drip loss ratio, shear force and meat color (L*, a* and b* values) (P>0.05). However, with the increase of dietary cobalt supplemental level, the eviscerated ratio and half eviscerated ratio tended to be increased firstly and then decreased. Dietary cobalt supplemental level had no significant influences on fur area, fur weight and fur thickness (P>0.05). With the increase of dietary cobalt supplemental level, the fur weight tended to be increased firstly and then decreased, and the highest value appeared when dietary cobalt supplemental level was 0.4 mg/kg. Dietary cobalt supplemental level had no significant influences on thymus index, spleen index and liver index (P>0.05). With the increase of dietary cobalt supplemental level, the thymus index tended to be increased firstly and then decreased, and the highest value appeared when dietary cobalt supplemental level was 0.4 mg/kg. Considering all indices of this experiment, the appropriate dietary cobalt supplemental level is 0.4 mg/kg for weaned to 3-month-old growing Rex rabbits (the basal diet cobalt content is 0.27 mg/kg).

Key words: cobalt; Rex rabbits; growth performance; slaughter performance; fur quality; immune performance

---

*Corresponding author, professor, E-mail: chlf@sdau.edu.cn （责任编辑 菅景颖）